

В.Н. Ануфриев,

заведующий кафедрой «Водоснабжение и водоотведение» БНТУ,

канд. техн. наук

Очистка сточных вод предприятий текстильной промышленности

Текстильная промышленность занимает значительное место в промышленном производстве Республики Беларусь. По данным Национального статистического комитета Республики Беларусь, в стране в течение последних пяти лет производилось 130–180 млн м² тканей, 55–60 млн шт. трикотажных изделий. Предприятия текстильной промышленности характеризуются существенным водопотреблением, и на них образуются значительные объемы загрязненных производственных сточных вод, которые, как правило, отводятся в системы канализации населенных пунктов.

Состав производственных сточных вод предприятий текстильной промышленности и требования к их очистке

Объем образующихся сточных вод зависит от исходного сырья, применяемых технологий отделки, а также наличия повторного и оборотного водоснабжения. В связи с этим удельные параметры образования сточных вод являются весьма усредненными. Так, при производстве акриловых тканей образуется порядка 35 м³ сточных вод на 1 т тканей, шерстяных тканей — 70 м³ на 1 т тканей, хлопковых — 100 м³ на 1 т тканей.

Технологические процессы на предприятиях текстильной промышленности весьма разнообразны, в связи с чем концентрации примесей, содержащиеся в производственных сточных водах, и их качественный состав могут варьироваться в широких пределах. Сточные воды образуются при переработке сырья (шерсти, льна, хлопка), отбеливании и крашении волокон, их усилении клеящими веществами, химической обработке и отделке тканей и т.д.

Сточные воды текстильных производств содержат остатки волокон, грязевые частицы, реагенты, поверхностно-активные вещества, красители. Количество загрязняющих веществ в сточных водах зависит от типа выпускаемых тканей (натуральные



или синтетические), технологии окраски, растворимости реагентов красителей в воде. Характеристики сточных вод текстильных предприятий представлены в табл. 1.

Таблица 1. Средние характеристики сточных вод текстильных предприятий^{1,2}

рН	ХПК, мг/дм ³	БПК ₅ , мг/дм ³	ХПК/БПК ₅	Взвешенные вещества, мг/дм ³	Общее содержание, мг/дм ³	Хром шестивалентный, мг/дм ³	Хлориды, мг/дм ³	Сульфиды, мг/дм ³	Цветность, град
От 4,0 до 12,0	От 250 до 1500	От 80 до 12000	От 2,2 до 5,0	От 15 до 8000	До 3000	От 1,0 до 4,0	От 1000 до 1600	До 50	От 50 до 2500

Требования к степени очистки сточных вод текстильных предприятий определяются в первую очередь видом приемника сточных вод. Требования к степени очистки сточных вод, отводимых непосредственно **в водный объект** (прямое водоотведение), по основным параметрам изложены в приложении Г.14 ТКП 17.06-08-2012 «Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Порядок установления нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод» (далее — ТКП 17.06-08-2012).

Таблица 2. Допустимые значения концентраций загрязняющих веществ в составе производственных сточных вод текстильных предприятий, отводимых в водные объекты

рН	ХПК, мг/дм ³	БПК ₅ , мг/дм ³	Взвешенные вещества, мг/дм ³	Фосфор общий, мг/дм ³	Азот общий, мг/дм ³	Азот аммонийный, мг/дм ³	Сульфит-ион, мг/дм ³
от 6,5 до 8,5	25	160	35	3	20	10	1



СПРАВОЧНО

Другие загрязняющие вещества могут быть приведены в разрешении на специальное водопользование (например, хлорид-ион, сульфат-ион, синтетические поверхностно-активные вещества), концентрации которых устанавливаются расчетами в соответствии с разд. 5 ТКП 17.06-08-2012.

Допустимые концентрации других загрязняющих веществ определяются расчетами, исходя из расходов сбрасываемых сточных вод, нормативов качества воды водного объекта, концентрации загрязняющего вещества в фоновом створе, ассимилирующей способности водных объектов, в порядке, устанавливаемом разд. 5 ТКП 17.06-08-2012³.

¹ Технический справочник по обработке воды. «Новый журнал». Санкт-Петербург. 2007. 1775 с.

² A. Al-Kdasi, A. Idris, K. Saed C.T. Guan Treatment of textile wastewater by advanced oxidation processes — a review. Global Nest: the Int. J. Vol 6. № 3. 2004. pp. 222–230.

³ См.: Дубенок С.А. Новые требования в области отведения сточных вод // Экология на предприятии. 2013. № 3. С. 93–96.



При отведении сточных вод в систему канализации населенного пункта требования к степени очистки и допустимые концентрации загрязняющих веществ в них устанавливаются:

1) договорами между текстильными предприятиями и организациями, эксплуатирующими системы канализации населенных пунктов (водоканалы, предприятия жилищно-коммунального хозяйства). Установление допустимых концентраций загрязняющих веществ в производственных сточных водах предприятий при их сбросе в систему хозяйственно-бытовой канализации населенных пунктов должно производиться исходя из обеспечения требуемой степени очистки городских сточных вод, необходимой для обеспечения нормального режима эксплуатации городских очистных сооружений и выполнения природоохранных требований при сбросе очищенных сточных вод в водные объекты;

2) решением местных органов власти, в котором устанавливаются условия приема производственных сточных вод в сети канализации населенного пункта, а также перечень загрязняющих веществ в сточных водах и их допустимые концентрации для конкретного предприятия, сбрасывающего сточные воды в канализацию;

3) положениями, приведенными в приложении Л ТКП 17.06-08-2012, устанавливающими общие требования к содержанию загрязняющих веществ в производственных сточных водах предприятий, отводимых в систему хозяйственно-бытовой канализации населенных пунктов;

4) приложением М ТКП 17.06-08-2012, в котором приведены требования к содержанию загрязняющих веществ в производственных сточных водах текстильных предприятий. Так, при сбросе сточных вод в хозяйственно-бытовую канализацию населенных пунктов концентрации загрязняющих веществ в составе производственных сточных вод предприятий текстильного производства и обработки текстильных изделий не должны превышать:

- адсорбируемые органически связанные галогены (АОХ) — 0,1 мг/дм³;
- сульфид-ион — 1,0 мг/дм³;
- хром общий — 0,5 мг/дм³;
- медь — 0,5 мг/дм³;
- никель — 0,5 мг/дм³;
- цинк — 2,0 мг/дм³;
- олово — 2,0 мг/дм³.

При повторном использовании очищенных сточных вод в производственном водоснабжении необходимая степень очистки определяется требованиями технологических процессов к подаваемой воде.

Технология очистки производственных сточных вод текстильных предприятий

При выборе технологии очистки сточных вод текстильных предприятий следует учитывать также **возможность применения биологической очистки**. В большинстве случаев сточные воды текстильных предприятий подвергаются биологической очистке совместно с хозяйственно-бытовыми сточными водами или отдельно от них.

В общем случае различные загрязняющие примеси, содержащиеся в сточных водах, могут быть подразделены на биологически легкоразлагаемые (простые спирты и органические кислоты, углеводы и т.д.), биологически трудноразлагаемые (танины, лигнины, циклические углеводороды, анилин и т.д.) и не поддающиеся биохимическому



разложению соединения (нитроформ, четыреххлористый углерод и т.д.). **Биологически легкоразлагаемые соединения** при очистке активным илом легко окисляются, в то же время для деструкции **биологически трудноразлагаемых соединений** требуется создание специальных условий. В большинстве случаев такими условиями являются температура не менее 15 °С, низкая нагрузка на ил — менее 0,15 кг БПК₅ на 1 кг активного ила. При температурах ниже оптимальных нагрузка может понижаться до значений менее 0,05 БПК₅ на 1 кг активного ила, также может потребоваться проведение адаптации активного ила к присутствию специфических органических соединений.

Вещества, **не поддающиеся биохимическому разложению**, невозможно удалить при биологической аэробной очистке. В связи с этим, если в сточной воде содержатся преимущественно органические вещества, не поддающиеся биохимическому разложению, и неорганические примеси, биологическая очистка может быть по крайней мере неэффективной, а иногда и невозможной. В этом случае следует рассматривать удаление примесей физико-химическими методами.

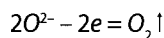
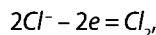
Отдельной проблемой, связанной со сбросом сточных вод предприятий текстильного производства, является их **цветность**. В настоящее время на мировом рынке представлено более 100 тысяч видов синтетических красителей при общем производстве порядка 700 000 т, значительная часть которых используется и в текстильном производстве⁴. Некоторые из красителей не подвержены биологической деструкции, и для снижения цветности сточных вод может также потребоваться применение методов физико-химической очистки.

В данном случае физико-химические методы очистки могут быть подразделены на две группы.

Первая группа включает технологии, которые предусматривают выделение находящихся в сточных водах красителей путем удаления их в виде осадка, флотошлама, поглощения сорбентами, задержания при мембранном разделении. Для реализации указанных методов используются отстойники, фильтры, флотаторы, сооружения для дозирования реагентов, устройства для мембранного разделения смесей.

Вторая группа методов обработки основана на разрушении (деструкции) молекул красителей. Деструкция красителей осуществляется за счет реакций окисления и восстановления, которые могут производиться как дозированием реагентов, так и электрохимическими способами. Причем окисление является более распространенным способом химической деструкции.

Электрохимические методы очистки основаны на электролизе сточных вод. Протекание химических реакций при электролизе зависит от состава сточной воды, от материала электродов, pH-среды и параметров электролиза, таких как плотность тока, наличия разделения сред в области анода и катода и т.д. На аноде происходит окисление, а на катоде — восстановление. Причем если электроды выполнены из материалов, не подвергающихся электролитическому растворению, то при кислой среде с pH < 7 и значительном содержании хлоридов на аноде происходит выделение галогенов, в основном хлора, и в меньшей степени выделение кислорода:

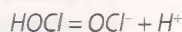
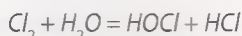


⁴ Fernando S. Garcia. Einschlag waste water treatment and reutilization. «InTech» Rijeka. 2011. 446 p.



При щелочной среде с $pH > 7$ на аноде увеличивается выделение кислорода.

Последующее растворение выделившегося при электролизе хлора и приводит к образованию раствора окислителя в виде гипохлорита иона и хлорноватистой кислоты:



Если анод растворимый, то происходит дополнительный процесс — анодное окисление материала анода. В электролизерах, предназначенных для окисления сточных вод, в качестве материала анодов используются электролитически нерастворимые материалы — графит, магнетит, диоксиды свинца, магния, рутения, иридия, нанесенные на титановую основу. В качестве катода обычно используются свинец, цинк и нержавеющая сталь, титан. Для разделения продуктов электролиза могут использоваться керамические, полиэтиленовые, асбестовые и стеклянные фильтрующие диафрагмы или ионоселективные мембраны, разделяющие анодное и катодное пространство.

В качестве реагентов окислителей используют хлор и хлорпроизводные, такие как гипохлориты кальция и натрия, диоксид хлора, озон, пероксид водорода, кислород или воздух. Характеристика реагентов окислителей приведена в табл. 3.

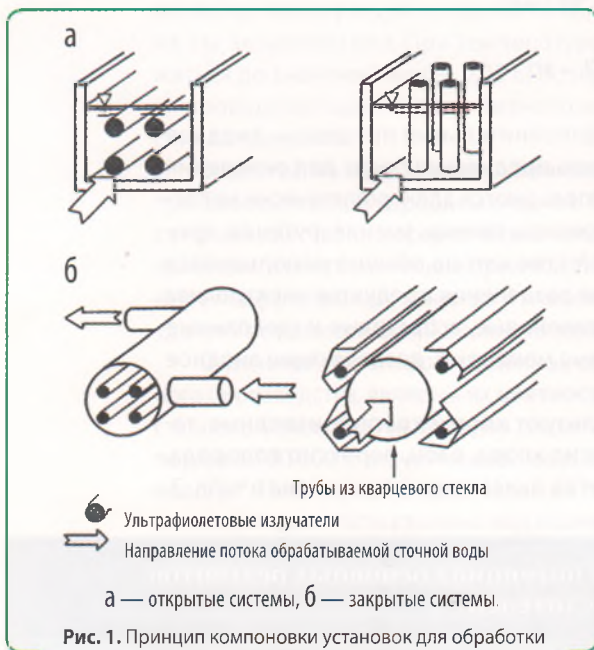
Таблица 3. Окислительный потенциал основных реагентов окислителей

Реагент	Электрохимический окислительный потенциал, В	Относительный электрохимический окислительный потенциал (по отношению к хлору)
Фтор	3,06	2,25
Гидроксильный радикал	2,80	2,05
Кислород (атомарный)	2,42	1,78
Озон	2,08	1,52
Пероксид водорода	1,78	1,30
Гипохлорит	1,49	1,10
Хлор	1,36	1,00
Диоксид хлора	1,27	0,93
Кислород (молекулярный)	1,23	0,9

При этом обработка сточных вод хлором и хлорсодержащими окислителями приводит к образованию токсичных хлорорганических соединений, которые вызывают определенные проблемы. В связи с этим в последнее время значительный интерес вызывают способы окисления, альтернативные хлорированию, в т.ч. так называемые усовершенствованные процессы окисления (анг. *Advanced Oxidation Process (AOPs)*). Указанная выше группа методов окисления основана на получении гидроксильных свободных радикалов ($HO\cdot$), которые являются сильными окислителями и способны к деструкции красителей, которые не могут быть окислены традиционными окислителями. Гидроксильные свободные



радикалы получают сочетанием применения различных окислителей: озон + пероксид водорода; или окислителей и физических процессов, например, озон + ультрафиолетовое излучение; пероксид водорода + ультрафиолетовое излучение; озон + ультразвук.



Для **обработки сточных вод ультрафиолетовым излучением** применяются монохромные ультрафиолетовые излучатели низкого давления с основной длиной волны 254 нм, а также ультрафиолетовые излучатели среднего давления, которые генерируют излучение в диапазоне с длинами волн 200–280 нм. Характеристики ультрафиолетовых излучателей приведены в табл. 4.

Для обработки сточных вод могут использоваться системы ультрафиолетового облучения в открытых каналах, оснащенные ультрафиолетовые излучатели низкого давления, а также закрытые системы. Последние работают в напорном режиме и, как правило, оборудованы ультрафиолетовыми излучателями среднего давления, установленными параллельно потоку обрабатываемой сточной воды (см. рис. 1, 2).



Рис. 2. Вид станции обработки сточных вод ультрафиолетовым излучением



Таблица 4. Характеристики ультрафиолетовых излучателей

Параметры	Ультрафиолетовые излучатели низкого давления	Ультрафиолетовые излучатели среднего давления
Диапазон потребляемой мощности, Вт	4–100	1000–17 000
Эффективность, %	30–40	10–15
Удельная мощность излучения, Вт/см	0,2	15
Температура на поверхности стенок лампы, °С	40	600–900

Озон является мощным реагентом-окислителем для очистки сточных вод. После растворения в воде озон взаимодействует с большинством органических соединений двумя различными способами: путем непосредственного окисления молекулярным озоном или посредством не прямой реакции через формирование вторичных окислителей, таких как гидроксил радикал. Эффективность озонирования зависит от дозировки, продолжительности реакции, концентрации органических веществ в сточных водах и величины pH .

Из-за нестабильности озон невозможно хранить и транспортировать, в связи с чем он производится на месте использования (см. рис. 3). Озонирующая установка включает устройства для получения озона, перемешивающее устройство, камеру реакции и установку для удаления остатков озона. Озон производят либо из очищенного и осушенного атмосферного воздуха, либо из чистого кислорода под воздействием высоковольтного электрического разряда. Необходимое охлаждение осуществляется с помощью воздуха или воды. При благоприятных условиях выработка озона из чистого кислорода составляет примерно 15 % от количества использованного кислорода. Для получения 1 г озона из кислорода затрачивается от 6 до 15 Вт/ч электроэнергии, из атмосферного воздуха — от 10 до 30 Вт/ч.

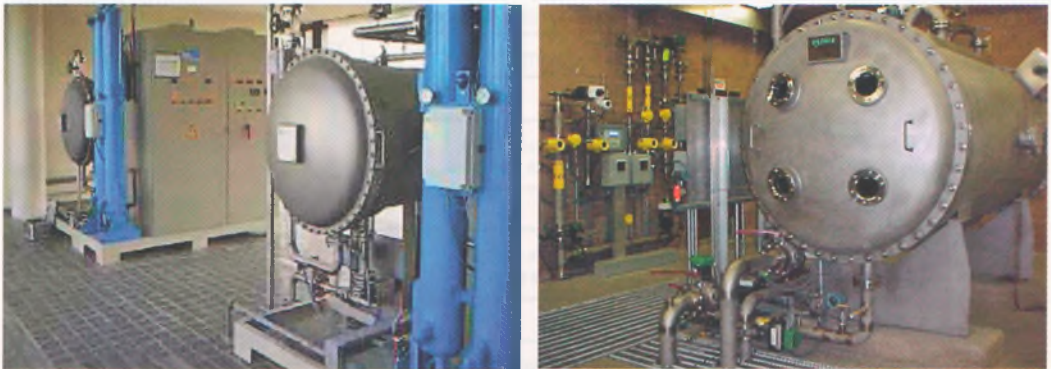


Рис. 3. Генераторы озона

Расход озона, подаваемого в воду, зависит от используемой системы дозирования, давления, параметров и температуры сточной воды. Результативность падает с увеличением температуры воды и уменьшением инжекционного давления. Озон можно добавлять в основной поток обрабатываемой сточной воды или подавать с помощью эжектора в дополнительный поток с последующим смешиванием озонированной воды со сточной водой в основном потоке.



Сочетание окислителей и физического воздействия на обрабатываемую сточную воду позволяет снизить расход реагентов и повысить глубину деструкции красителей.

Таким образом, для очистки сточных вод текстильных предприятий применяются различные сочетания процессов обработки и сооружений, подобранных исходя из конкретных условий водоотведения.

Схема очистки производственных сточных вод предприятия текстильной промышленности Huber SE

Как правило, предварительная очистка сточных вод включает:

- процеживание на решетках, ситах, волокнуловителях с мелкими прозорами для задержания волокон, очесов, и т.д.;
- усреднение для регулирования расхода и pH и концентраций загрязняющих веществ;
- предварительная аэрация при необходимости окисления сульфидов;
- нейтрализация.

Последующая (вторичная) очистка может включать биологическую ступень, ступень физико-химической очистки или их сочетание. Доочистка (третичная очистка) может включать обработку окислителями и дополнительное удаление взвешенных веществ. Пример комплекса сооружений для очистки сточных вод предприятий текстильного производства приведен на рис. 4. Данная технологическая схема предлагается французской компанией «Degremont»⁵ для обработки производственных сточных вод, загрязняющие вещества которых могут быть удалены при биологической очистке.

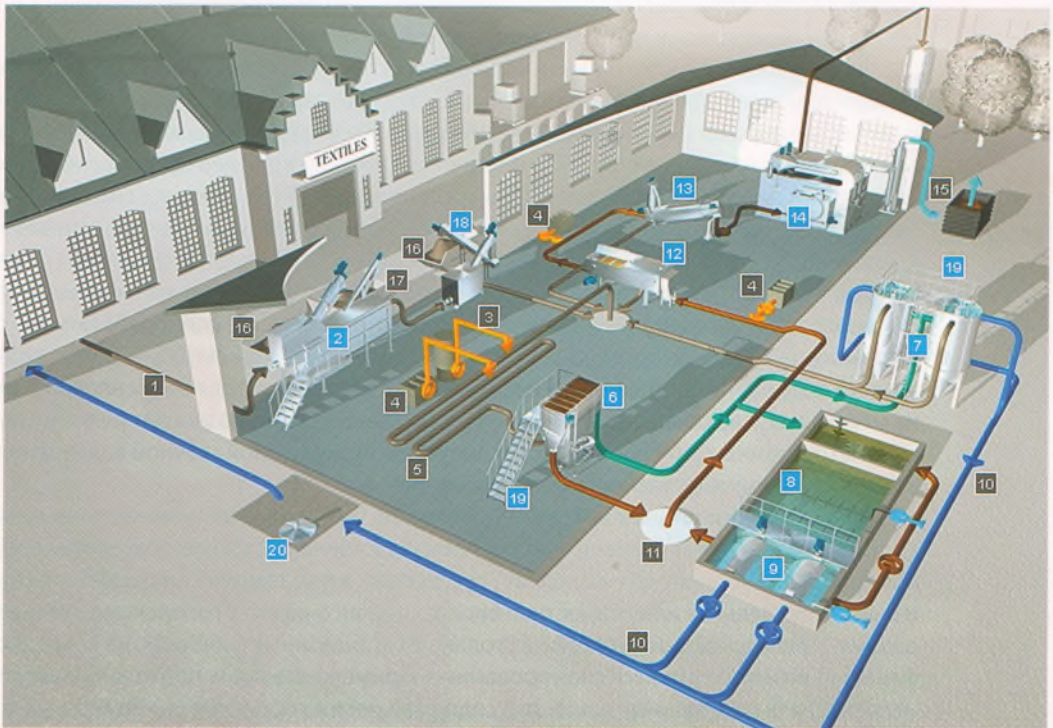


Рис. 4. Структурная схема обработки производственных сточных вод предприятий текстильной промышленности

⁵ Технический справочник по обработке воды. «Новый журнал». Санкт-Петербург. 2007. 1775 с.



Пример аналогичного комплексного технического решения для очистки сточных вод предприятий текстильной промышленности, которое представляет собой комплект очистных сооружений и вспомогательного оборудования для обработки таких сточных вод и осадка⁶ с использованием флотации и аэробной биологической очистки с мембранным разделением иловой смеси, приведен на рис. 5.



- | | |
|--|--|
| 1. Поступление производственных сточных вод. | 11. Накопитель осадка. |
| 2. Установка для предварительной обработки, включающая решетку и песколовку. | 12. Ленточный сгуститель осадка. |
| 3. Барабанное сито тонкой очистки. | 13. Шнековый пресс для обезвоживания осадка биологической очистки. |
| 4. Дозирование реагентов, коагулянтов и флокулянтов. | 14. Установка для сушки осадка. |
| 5. Трубчатый смеситель. | 15. Скруббер и биофильтр. |
| 6. Флотатор напорной флотации. | 16. Накопитель обезвоженных отходов. |
| 7. Фильтр с загрузкой из песка. | 17. Накопитель песка. |
| 8. Емкость для биологической очистки. | 18. Шнековый транспортер. |
| 9. Реагентное хозяйство коагулянта. | 19. Площадка для обслуживания флотатора. |
| 10. Отведение очищенной воды. | 20. Накопитель очищенной воды. |

Рис. 5. Технологическая схема очистки производственных сточных вод предприятия текстильной промышленности

Как следует из рис. 5, предварительная обработка поступающих производственных сточных вод (1) вначале производится на комбинированной установке для механической очистки (2), содержащей решетку с прозорами 0,5–10 мм и горизонтальную песколовку, а также устройства для отжима задержанных отходов и обезвоживания песка.

⁶ Комплексные решения Huber technology. 2013. 83 с.



Далее сточная вода поступает на барабанное сито (3) с сеткой ячейками 0,2–1,0 мм, где производится задержание волоконных и других мелкогабаритных примесей, после чего обработанная сточная вода отводится на флотационную очистку (6). Флотационная очистка сточных вод производится с предварительным дозированием коагулянтов и флокулянтов. Для приготовления их растворов используется реагентное хозяйство (4), включающее емкости для хранения реагентов, растворные и расходные баки и насосы-дозаторы для подачи реагентов в обрабатываемую воду. Перемешивание воды с реагентами производится в трубном смесителе-флокуляторе (5).

Флотационная очистка сточной воды обеспечивает удаление жира и других всплывающих примесей, после которой сточная вода направляется на доочистку на сооружениях биологической очистки с разделением иловой смеси на мембранах (8), что позволяет получить на выходе очищенную воду, практически не содержащую взвешенных веществ и характеризующуюся высокими санитарными параметрами (отсутствием бактерий и вирусов). В рассматриваемой технологической схеме предусмотрено параллельное подключение с сооружениями биологической очистки фильтров (7), с загрузкой из песка. Песчаный фильтр предусматривает восходящее фильтрование воды с непрерывной регенерацией фильтрующей загрузки, что позволяет работать без отключения на обратную промывку. Учитывая, что очистка на фильтрах — более экономичный процесс по сравнению с биологической очисткой с разделением иловой смеси на мембранах, параллельное подключение указанных линий позволяет регулировать параметры режима очистки и качество получаемой очищенной сточной воды, используемой для производства водоснабжения.

В качестве **наилучших доступных методов**, при использовании которых может достигаться требуемая степень очистки производственных сточных вод, приведенных в документах Европейской комиссии⁷, предлагается ряд технических решений. Один из них — раздельная или совместная биологическая очистка с городскими сточными водами с финишной доочисткой на угольных сорбционных фильтрах, на установках флокуляции или окисления озонированием. Применение таких подходов позволяет использовать питательные вещества, содержащиеся в городских сточных водах, для обеспечения стабильности процессов биологической очистки производственных сточных вод, а также удаления загрязняющих веществ, в т.ч. красителей, с избыточным активным илом. Следует отметить, что в отличие от существующей практики в Республике Беларусь с отведением сточных вод текстильных предприятий в системы канализации населенных пунктов и очистки совместно с городскими сточными водами, здесь предусмотрены системы доочистки, обеспечивающие дополнительное снижение загрязняющих сточных вод веществ после биологической очистки. Вторая группа способов предполагает использование сочетания различных способов физико-химической очистки коагуляции с флокуляцией, окислением, сорбцией, разделением на мембранах, которые позволяют удалять примеси, не поддающиеся биохимическому разложению.

В связи с вышесказанным выбор стратегии обращения со сточными водами текстильных предприятий должен базироваться на технико-экономических расчетах вариантов технических решений, предусматривающих детальные исследования условий образования исходных сточных вод и их параметров, наличия в них трудноокисляемых красителей, возможности применимости биологической очистки и других условий водоотведения, обработки и утилизации осадка и других отходов. 🍃

⁷ Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques for the Textiles Industry. EUROPEAN COMMISSION, August 2003.